

D18 SYKKELVEI KRONSTADTUNNELEN – KRYSSLØSNING I LØSMASSER

D18 Sykkelvei Kronstadtunnelen – Tunnel junction in soil

Kristine Hausberg Kjeilen, Bybanen Utbygging
Joel Biedermann, Amberg Norge
Leiv Pedersen, Amberg Norge

SAMMENDRAG

Som en del av bybanenprosjektet byggetrinn 4, har Bybanen Utbygging utvidet en gammel jernbanetunnel under Møllendal gravplass fra 1913 til gang- og sykkelvei, der de siste 8 m av tunnelen, samt den gamle portalen er vernet av Byantikvaren i Bergen. Ca. 45 m av den nordre delen av tunnelen er etablert i løsmasser og på grunn av den vernede delen var det nødvendig å etablere en ny gangtunnel med portal, og så føre gangtunnelen og sykkel tunnelen sammen i en kryssløsning i løsmasser ca. 20 m inn i tunnelsystemet. Deretter er den gamle tunnelen utvidet for å gi plass til både gående og syklende i samme tunnellop. Amberg Norge AS og Multiconsult Norge AS har prosjektert, skrevet anbuds dokumenter og deltatt i prosjektoppfølgning under bygging av løsmassetunnelen, som ble utført av Veidekke Entreprenør AS med underentreprenør Östu Stettin fra Østerrike.

SUMMARY

As part of the stage 4 of the Light Rail system in Bergen, Norway, the construction department of the operator, Bybanen Utbygging, has enlarged an old railway tunnel from 1913 under a cemetery and converted it into a pedestrian and bicycle tunnel. Approximately 45 m of the northern part of the tunnel was in soil. One of the portals and part of the tunnel are preserved by the authorities and therefore a separate new portal and tunnel for the pedestrians was required, which then was merged with the bicycle tunnel in an intersection in soil. Amberg Norge AS and Multiconsult Norge AS have designed, drafted the tender documents, and followed up the construction of the soil tunnel. The tunnel was constructed by Veidekke Entreprenør AS and Östu Stettin from Austria.

INNLEDNING

Bybanen Utbygging bygger om Kronstadtunnelen, en eldre jernbanetunnel fra 1913 med smalt tunnelprofil, for å tilrettelegge for gang- og sykkeltrafikk mellom Møllendal og Kronstad, se Figur 1. Kronstadtunnelen er 465 m lang der mesteparten av tunnelen går i berg, mens ca. 45 m av nordlige del går i løsmasser og ble bygget som murt steinhvelv i åpen byggegrop. De ytre 8 m av tunnelen samt portalen i løsmassedelen er vernet og skal bevares. Tverrsnittet er så lite at kun syklende får plass og en ny gangtunnel bygges derfor parallelt i løsmasser og kobler seg til eksisterende tunnel etter ca. 19 m. Den resterende delen av tunnelen utvides til å romme både gang- og sykkeltrafikk med varierende grave-/sprengningstverrsnitt fra 67 til 104 m² i krysset.



Figur 1: (1) Prosjektplassering merket med rød ring, (2) Bildet fra 1913 og (3) Tunnel i løsmasser før oppstart av prosjektet

Bygging av løsmassetunnel er ikke vanlig i Norge, og derfor ble det stilt krav til prosjekterende om relevant erfaring med løsmassetunneler. Multiconsult Norge AS sammen med Amberg Norge AS ble tildelt kontrakten, og Amberg Norge AS har hatt ansvaret for prosjektering av løsmassedelen av Kronstadtunnelen.

I forprosjektet ble ulike drivemetoder som frysing og rørskjerm vurdert. Som del av kontrakten skulle det gjøres et endelig valg av drivemethode. Videre var det føringer fra håndbøkene til Statens vegvesen på tverrsnitt, kryssløsning, sikt, kurvatur og vedlikehold. I tillegg la Byantikvaren føringer på endelig utseende på portalen ved Møllendal, samt de første 8 m av tunnelen som ble vurdert som verneverdig.

Dokumenter fra prosjektering og bygging av den gamle tunnelen som ble prosjektert i ca. 1910 og ferdigstilt i ca. 1913 var tidligere overført fra arkivene til Bane NOR til Byantikvaren i Bergen. Prosjekteringen startet våren 2020 og på grunn av Covid-19 fikk prosjekterende ikke tilgang til disse arkivene og det var ikke kapasitet hos Byantikvaren til å lete fram gamle dokumenter og skanne disse for utsendelse til prosjekterende. Noen gamle prinsipp tegninger ble funnet på nettet samt at en eldre jernbanekyndig ingeniør lagde en betenkning på

prosjektering og bygging på oppdrag for Sweco. Denne ble sammenholdt med Ambergs egne vurderinger, blant annet basert på tilsvarende bygg fra Mellom-Europa, og disse var relativt samsvarende.

Kronstadtunnelen skal gi en rask og sikker sykkelveiløsning mellom Bergen sentrum og undervisningsmiljøet på Kronstad og videre til sykkelnettverket over Mindemyren til Bergen sør og Fyllingsdalen. Arbeidet med å utvide Kronstadtunnelen startet høsten 2021 og er forventet ferdig vinteren 2023. Arbeidene utføres av Veidekke Entreprenør AS med Östu Stettin, Østerrike, som underentreprenør for utførelse av løsmassedelen. Etter ferdigstilling av arbeidene blir tunnelen overført til Statens vegvesen som skal ha eier- og driftsansvaret.

TEKNISKE LØSNINGER

Gjennom hele prosjekteringsfasen var det et tett samarbeid mellom konsulent og byggherre, og valg av løsninger ble fortløpende forankret. Bybanen Utbygging benytter seg av modellbasert prosjektering og bygging, noe som forenkler prosessen mellom utførende og byggherre, samt mellom de ulike fagene.

Inngangsparametere

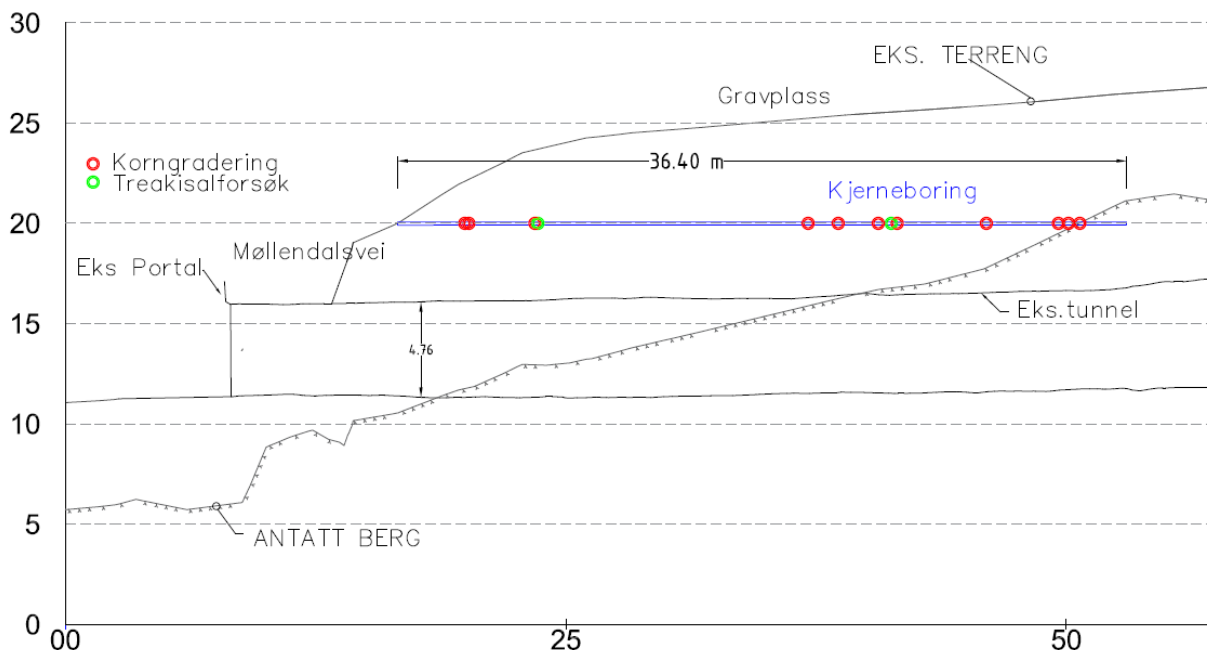
Som grunnlag for valg av drivemetode, detaljprosjektering og utarbeidelse av anbudspapirer hadde man tilgang på følgende:

- Forprosjekt
- Grunnundersøkelser i form av totalsonderinger, kjerneboringer gjennom tunnelveggen inne i tunnelen, et horisontalt kjerneborhull langs den eksisterende tunnelen med utvalgte lokasjoner for prøvetaking, seismikk og piezometermålinger, se Figur 2. I tillegg foretok man nye undersøkelser av utvalgte lokasjoner i det horisontale borehullet underveis i prosjekteringen
- Borprotokoll fra installasjon av en vertikal og en skrå rørvegg ved siden av den gamle portalen
- Ingen relevante føringer i eksisterende vegnormaler på løsmassetunnel, men normalprofiler er definert
- Relevante standarder fra Mellom-Europa på bygging av løsmassetunnel
- Eurokode 0 og 7



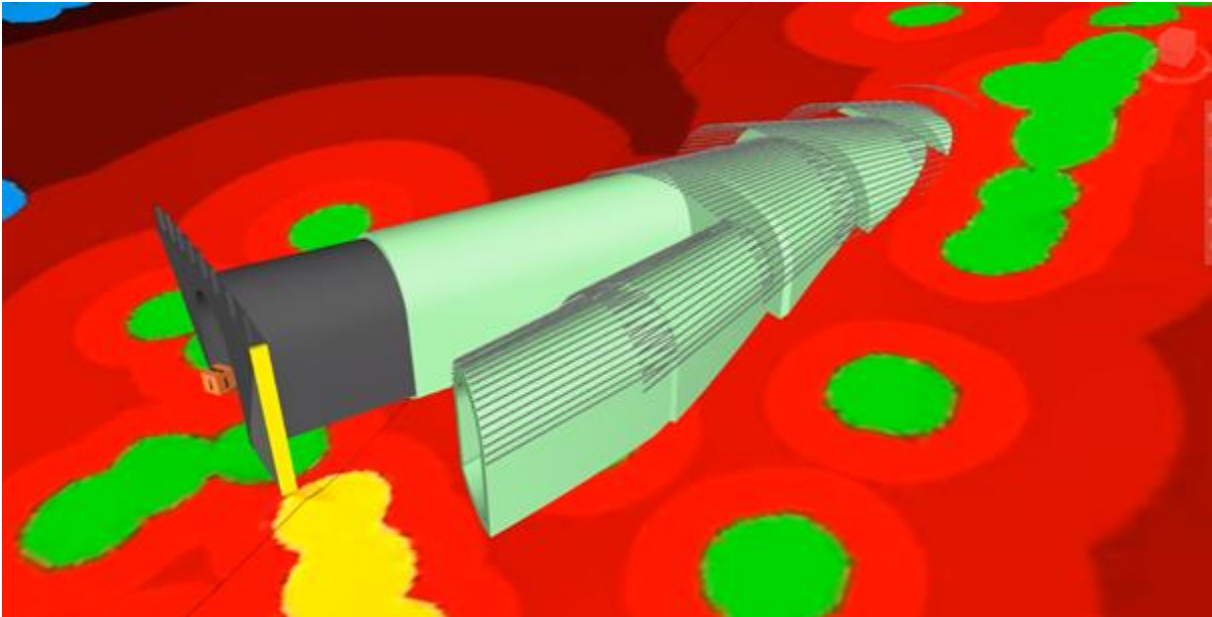
Figur 2: Oversikt over totalsonderinger, poseprøver, piezometer og refraksjonsseismiske målinger Møllendal gravplass før detaljprosjektering

Fra den horisontale kjerneboringen ble det utført supplerende 11 stk. kornfordelingsanalyser og 2 stk. treaksialforsøk. Plassering av analyser langs kjerneboring er vist i Figur 3.



Figur 3: Horisontal kjerneboring over eksisterende Kronstadstunnel og utførte undersøkelser

Ut fra utførte grunnundersøkelser ble det laget en visualisering i 3D av fjelloverflaten over prosjektområdet, se Figur 4.



Figur 4: Visualisering av fjelloverflaten med planlagt tunnel. Grønne og gule punkter er fjelloverflate fra grunnundersøkelsene

Med utgangspunkt i eksisterende grunnundersøkelser var det usikkerhet om tunnelen var bygget i åpen byggegrop eller som en løsmassetunnel.

Risikovurdering

Basert på inngangsparameterne ble det foretatt en risikovurdering av utførelsen. En av de viktigste risikofaktorene var erfaring fra tilsvarende arbeider, og her til lands har vi ikke mange tilsvarende prosjekter hvor entreprenører har opparbeidet seg relevant kompetanse. Det ble antatt at hovedentreprenøren ville knytte til seg relevant kompetanse i form av en utenlandsk underentreprenør.

Anleggsområdet som var tilgjengelig var meget begrenset. Den nye portalen skulle plasseres nær den eksisterende og riggområdet var meget begrenset, se Figur 5. Nærmeste nabo var Møllendal kapell og spesielt arbeidene i byggegropen måtte begrenses under begravelseremoniene.

Forutsetninger i prosjekteringen var også vesentlige elementer som inngikk i risikovurderingen slik som:

- var grunnen slik som beskrevet i grunnundersøkelsene korrekt (har betydning for effekt av grunnforsterkningen)
- var den gamle tunnelen bygget i en åpen byggegrop eller som tunnel (har betydning for grunnforholdene direkte utenfor den gamle tunnelforingen)
- klarte man å oppnå tilstrekkelig reduksjon av grunnvannstanden, hvor store setninger kunne man forvente under en gravplass, osv.



Figur 5: Sykkeltunnel til venstre i bildet og gangtunnel etablert i byggegrop til høyre viser den begrensede plassen

Valg av drivemetode

I tidlige faser av prosjektet ble det gjort vurderinger rundt mulige drivemetoder for løsmassetunnelen. I begynnelsen av detaljprosjektering ble det tatt stilling til løsningsvalg med hensyn til byggbarhet, RAMS, helse, arbeidsmiljø, kostnad, tid og ytre miljø.

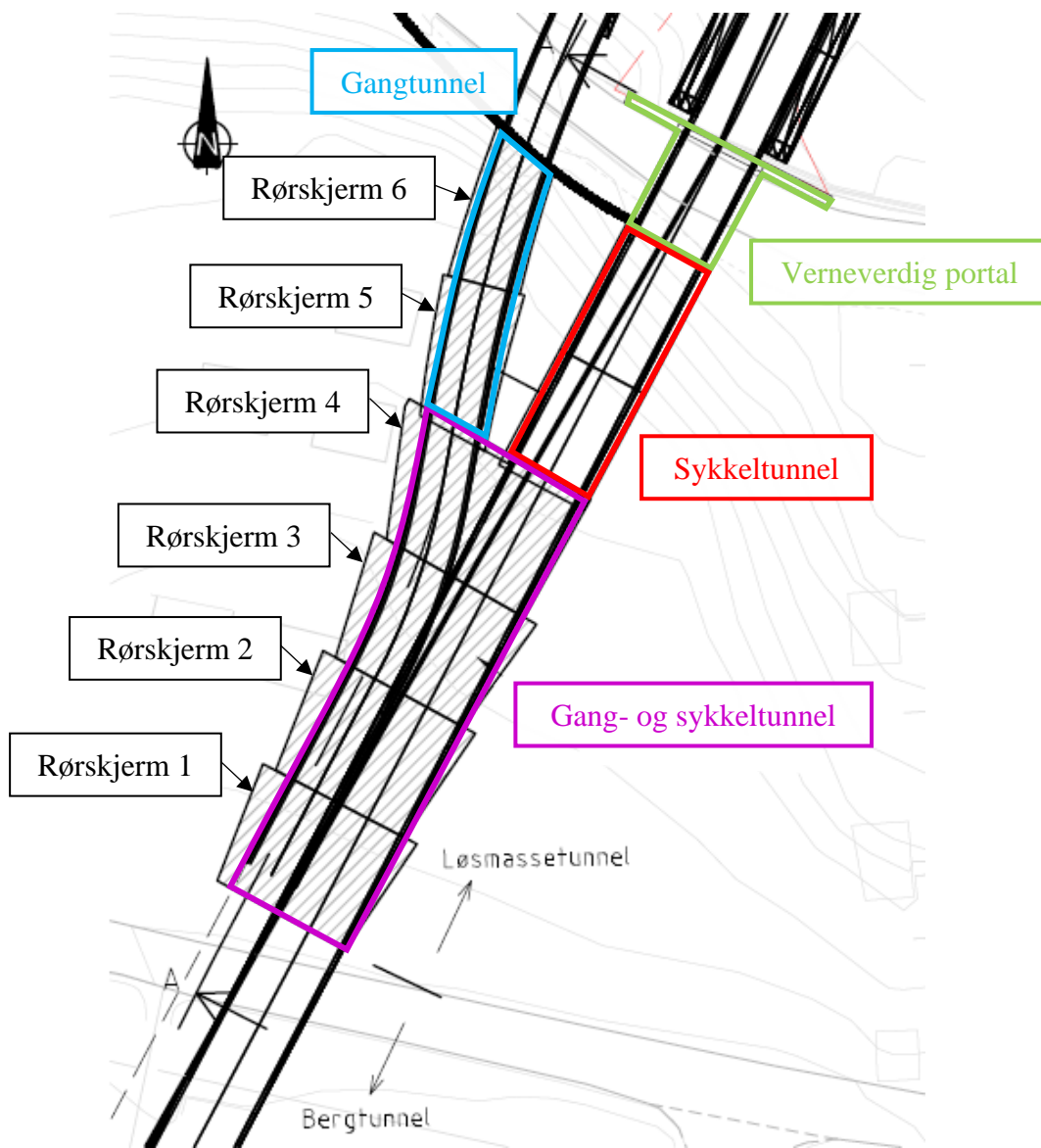
Det ble anbefalt å drive løsmassetunnelen med rørskjerm fordi metoden er fleksibel. Metoden kan enkelt tilpasses tunnelens geometri og lokale forhold, og kan gjennomføres uten inngrep fra Møllendal gravplass. Sammenlignet med blant annet frysing er metoden billigere, krever mindre tid, har mindre ulemper med hensyn til HMS og ytre miljø, minimerer fare for skade på verneverdig portal og begrenser plassbehov.

Siden den gamle tunnelen hadde drenert området i løpet av de siste 100 år, valgte man en drenert tunnelloøsning gjennom løsmassene.

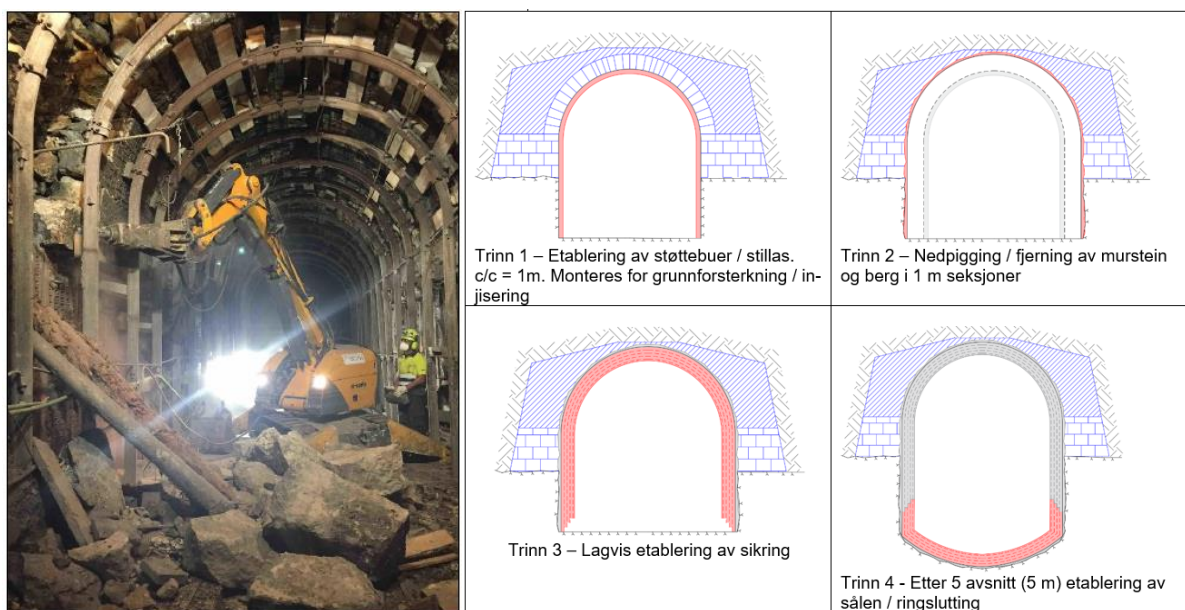
Løsmassetunnel og portal for sykkeltunnel

I forbindelse med ombygging av eksisterende Kronstadstunnel til kombinert gang- og sykkeltunnel er den nye løsmassetunnelen delt inn i forskjellige elementer, se Figur 6.

I sykkeltunnel, hvor den gamle tunnelen skulle utvides, var det behov for å stabilisere løsmassene utenfor den gamle tunnelforingen. Med utgangspunkt i laboratorieanalysene av grunnunder-søkelsene, valgte man en omfattende stabilisering med injiserbare jordankre og injeksjon før riving av den gamle mursteinen skulle utføres, se Figur 7.

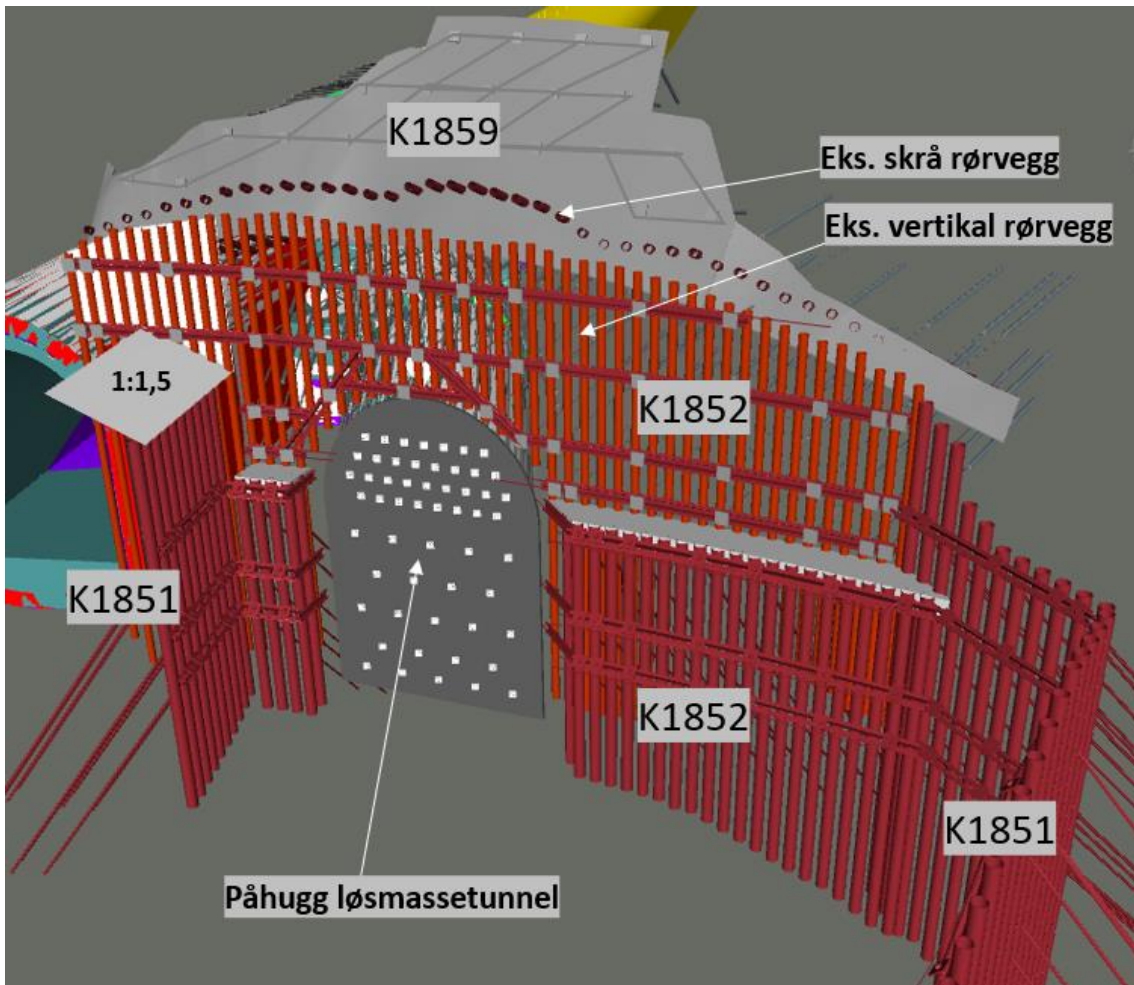


Figur 6: Ulike deler av den nye løsmassetunnelen



Figur 7: Prinsipp for stegvis sikring, riving og utvidelse av profilet i sykkel tunnel

Siden den gamle portalen og de første 8 m av den gamle tunnelen var vedtatt vernet, var det nødvendig å etablere en byggegrop ved siden av den gamle tunnelen for å etablere en ny portal for gangtunnelen. Dette var en kompleks byggegrop som ble prosjektert av Multiconsult med mange grensesnitt mot løsmassetunnelen, se Figur 8.



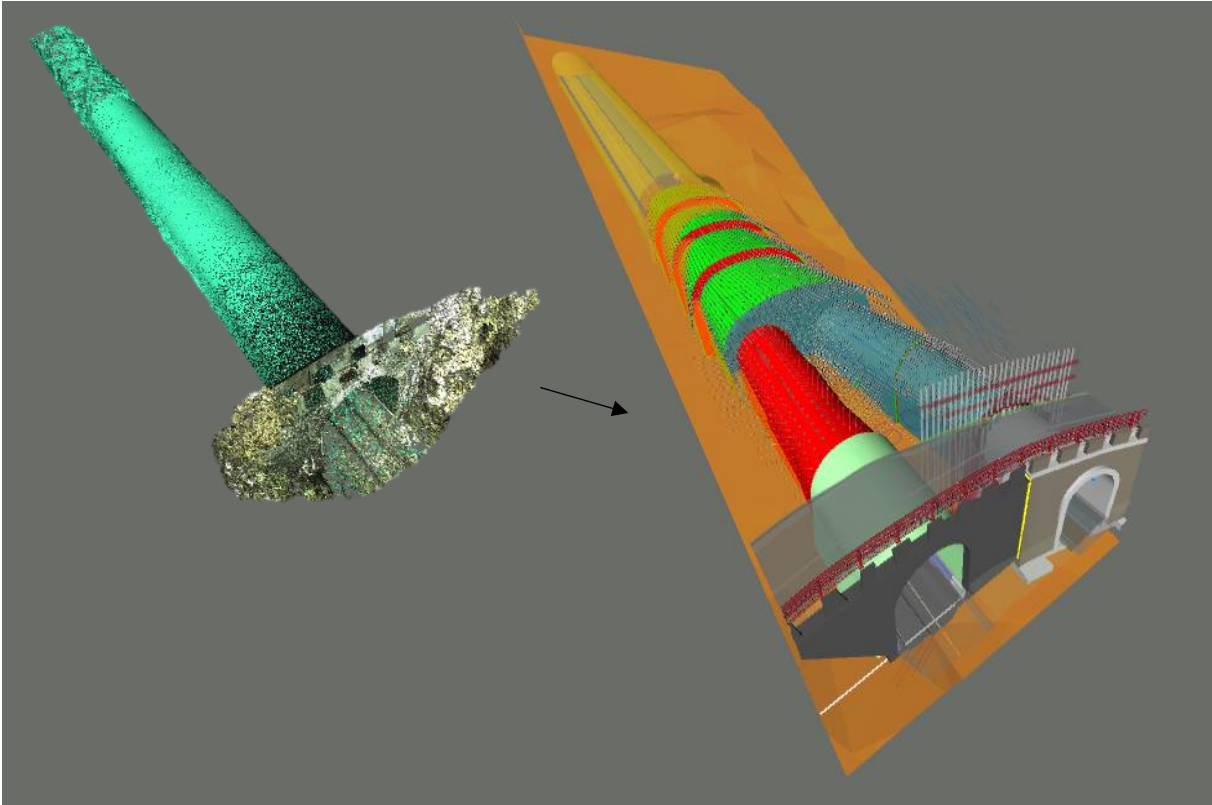
Figur 8: Utsnitt fra modell som viser sikringskonstruksjoner i byggegrop for ny portal til gangtunnel

Den eksisterende vertikale rørveggen skulle frilegges og sikres med puter og lange jordankre. Nye rørvegger forankret i løsmasser og fjell skulle etableres delvis inntil og under den gamle tunnelen, se Figur 9. Påhugget for løsmassetunnelen gikk gjennom den eksisterende rørveggen, som derfor måtte seksjonsvis kappes og stoffen ble sikret fortløpende. Dette var et møysommelig og komplisert arbeid for å kunne beholde den vernede delen samt oppfylle krav om sikt og linjeføring i vegnormalen.

Modellbasert prosjektering

Ved oppstart prosjektering forelå det DWG grunnlags- og fagmodeller, samt linjeføring av veier. Grunnet strenge restriksjoner under Covid-19 ble det tidlig etablert gode digitale samhandlingsrutiner som var kritiske for å sikre framdrift og forankrede løsninger.

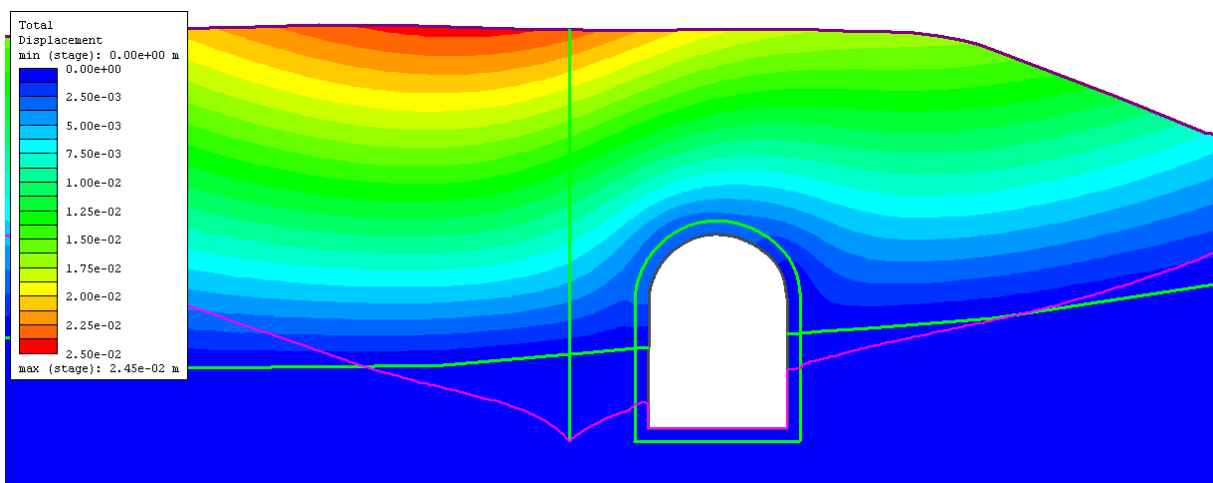
Modellen ble videreutviklet hvor referanser til beskrivelse er knyttet opp til modellen. For å sikre rask framdrift av prosjekteringen og grensesnittshåndtering, benyttet man seg av digitale tverrfaglige møter med VDC for rask løsning av utfordringer som dukket opp. Dette var en optimal løsning for å kunne prosjektere under de stadig vekslende covid restriksjoner og med ressurser i ulike organisasjoner spredt rundt om i landet og i Europa.



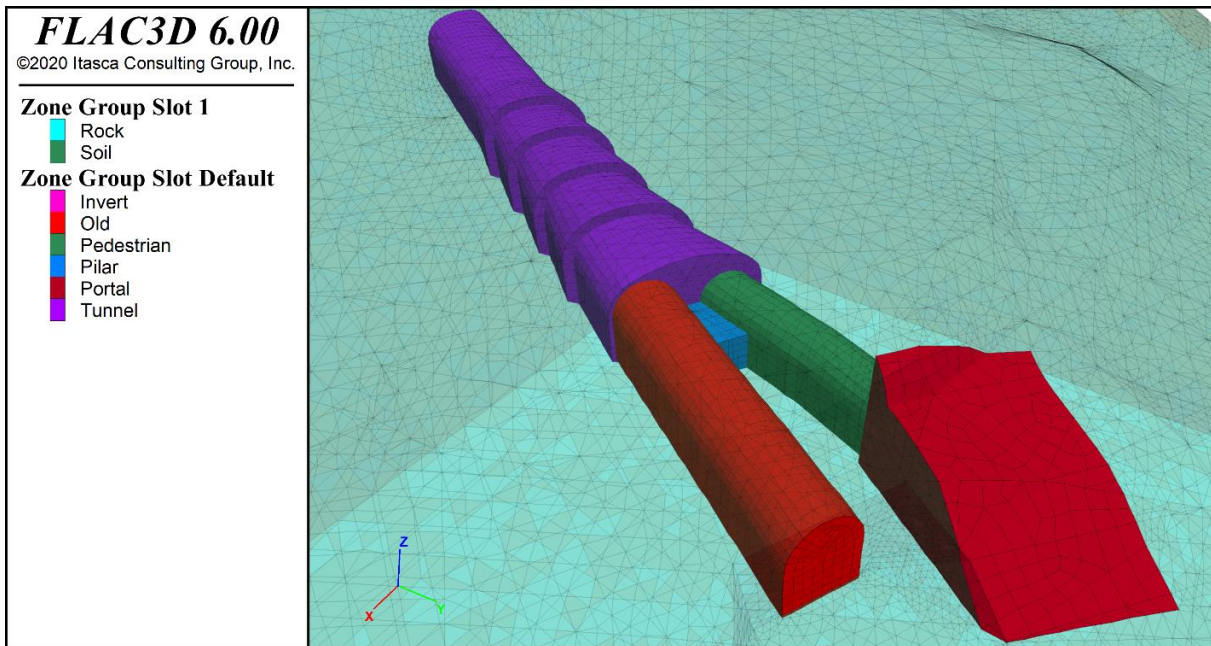
Figur 9: Modellutklipp fra prosjektet. Skann av gammel jernbanetunnel (venstre), prosjektert tunnelløsning med sykkelveg i gammel tunnel og utvidelse for gangvei med ny tunnel ved siden av den gamle i portalområdet (høyre)

Løsmassetunnelen ble opprettet som en parametriske modell ved hjelp av Revit, Dynamo og Grasshopper, Figur 9. Leveranse ble en fagmodell for løsmassetunnel i IFC2x3 format med attributter i tillegg til stikningsdata. Attributter inkluderte bl.a. referanser til beskrivelsen.

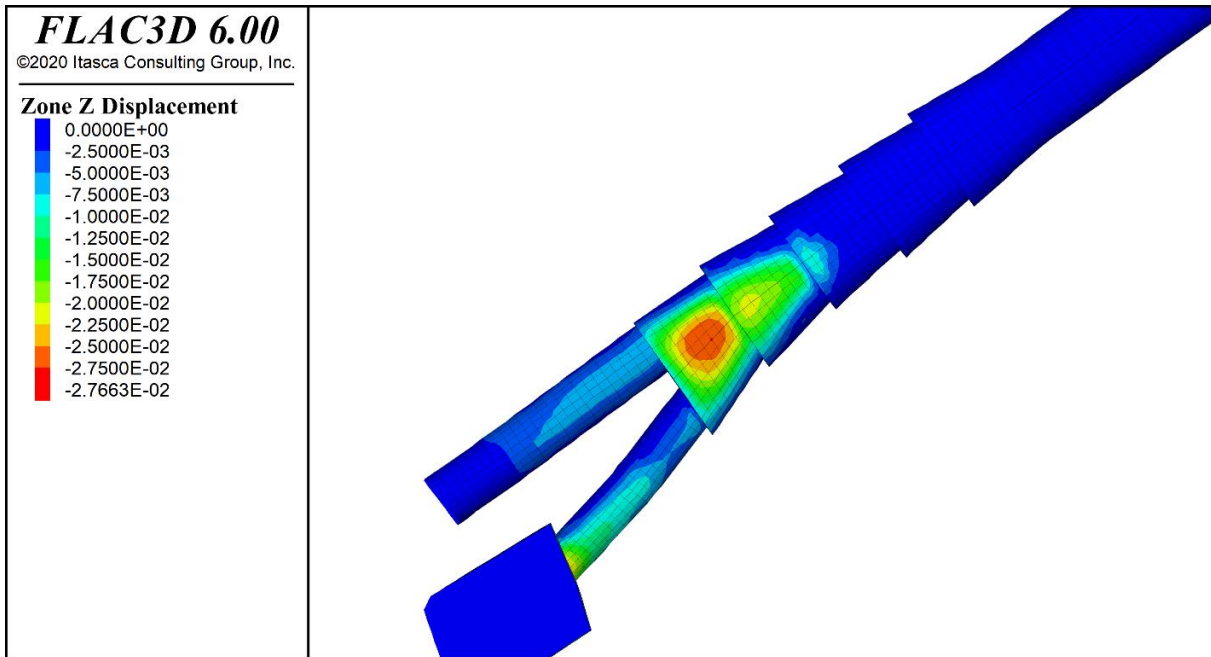
Hele tunnelsystemet og portaler er modellert i Flac3D, og konsekvens av de ulike arbeidssekvensene er modellert, bl.a. forventede setninger som følge av grunnvannssenkning, uttak av masser og permanent situasjon, se Figur 10 til Figur 12.



Figur 10: 2D beregning av setninger som følge av grunnvannssenkning



Figur 11: Ulike elementer som ble modellert



Figur 12: Vertikale deformasjoner etter installasjon av permanent sikring

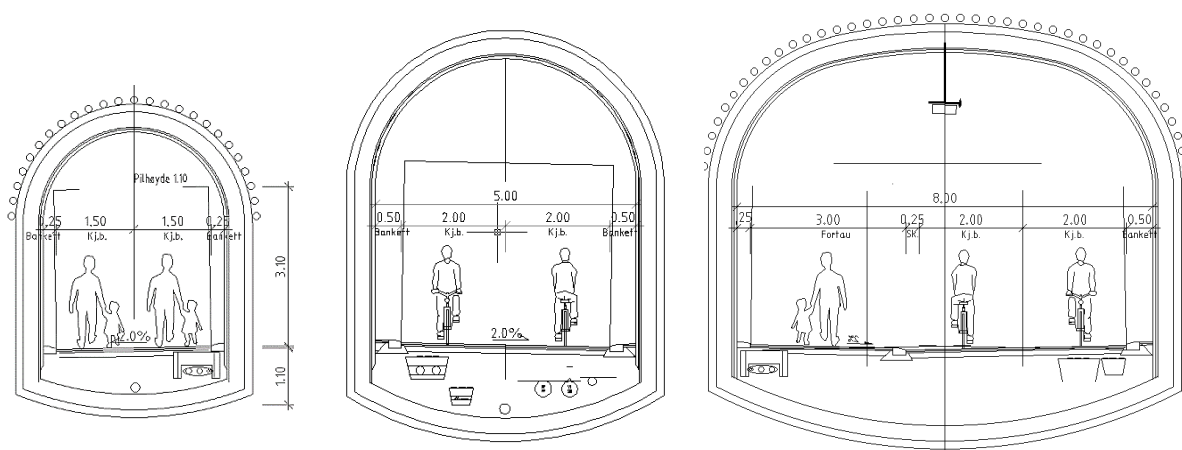
Grensesnittet byggegrop-tunnel var utfordrende da byggegropen krevde utstrakt bruk av jordankre som måtte plasseres rundt og mellom tunnelene. Dette medførte at det var få frihetsgrader mtp. hvordan tunnel, rørsjerm og jordankre kunne prosjekteres, med en viss toleranse under bygging.

Normalprofil

Løsmassedelen av Kronstadttunnelen består av fire forskjellige deler (Figur 6):

- Kombinert gang- og sykkel tunnel, med varierende tverrsnitt
- Gangtunnel
- Sykkeltunnel
- Verneverdig portal

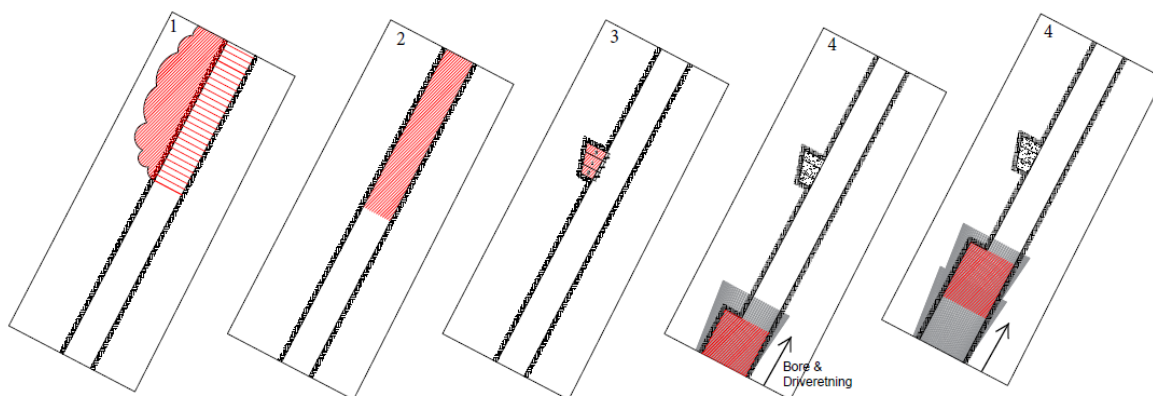
I sykkeltunnelen var det gamle profilet noe mindre enn vegnormalens krav og denne måtte derfor utvides, mens de siste 8 m fram til og med den gamle portalen skulle tverrsnittet beholdes fordi denne delen var vernet. I den kombinerte tunnelen ble tverrsnittet justert slik at stabile forhold under driving kunne oppnås. Figur 13 viser de ulike tverrsnittene i løsmassetunnelen.



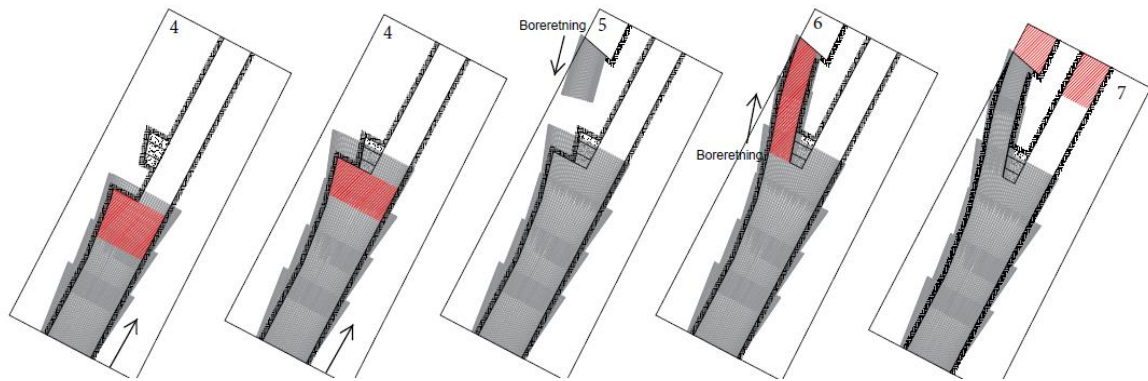
Figur 13: Tverrsnitt i gangtunnel, sykkeltunnel og kombinert gang- og sykkeltunnel

Drivesekvens

Grensesnitt for overgang mellom fjelltunnel og løsmassetunnel ble tidlig definert til der man forventet at bergoverdekningen ville være 5 m, det vil si ca. 45 m fra portalen i nord på Møllendalsiden. Fjelltunnelen var forventet ferdig utvidet slik at løsmassetunnelen kunne starte fra et profil som var utvidet til endelig tverrsnitt. Det ble tidlig avklart at krysset i løsmasser ville være det området man forventet størst deformasjoner og utfordringer. Løsmasseykkelsen var forventet å være mer enn $\frac{1}{2}$ tunnelhøyden og en betongpilar ble introdusert for at den permanente sikringen skulle ha tilstrekkelig forankring og unngå skjev deformasjon. Dette medførte sterke føringer på rekkefølge av arbeidsoperasjoner og en drivesekvens ble utviklet for å sikre best mulig stabilitet gjennom hele byggefasen, se Figur 14 og Figur 15.



Figur 14: Planlagt arbeidssekvens for utførelse av løsmassetunnelen (1/2)

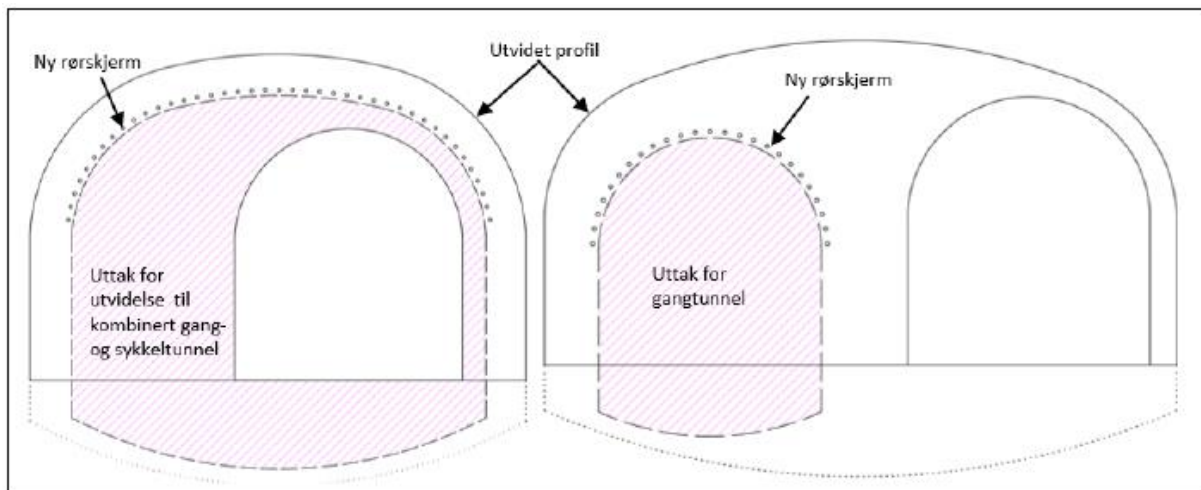


Figur 15: Planlagt arbeidssekvens for utførelse av løsmassetunnelen (2/2)

Prosjektering av kryssområdet

Pilaren i kryssområdet var nødvendig for å sikre at materialparameterne i kryssområdet var kjent og at ulike eller skjeve deformasjoner ikke oppstod. Pilaren etableres i fase 3 i Figur 14 over. Denne pilaren skulle være i betong og etableres tredelt for ikke å ta ut for stort profil i løsmasser med ukjent stabilitet.

Tverrsnittet på den kombinerte tunnelen inn mot krysset måtte utvides for å gi plass til neste rørsjerm for gangtunnel, se Figur 16.



Figur 16: Ulike tverrsnitt i kombinert gang- og sykkel tunnel, og i krysset med starten av gangtunnelen

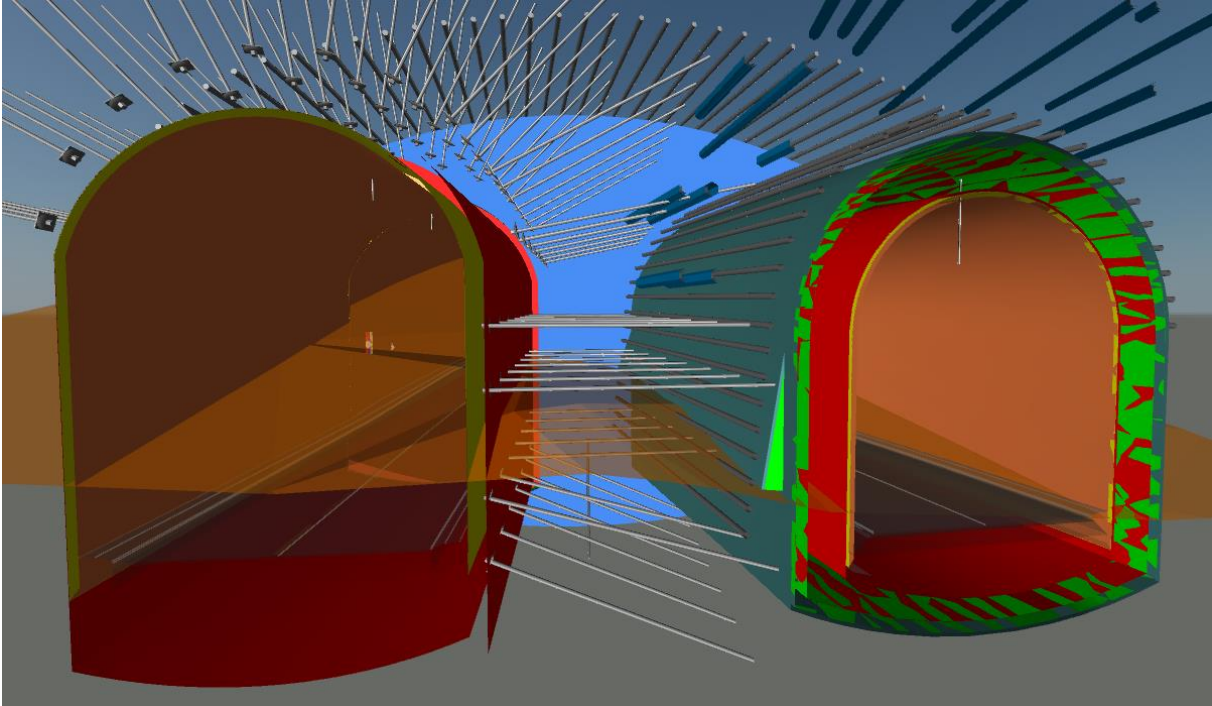
UTFØRELSE

Utvidelse av sykkel tunnelen

For å utvide sykkel tunnelen ble det tidlig startet arbeid med jordforsterking rundt den delen av sykkel tunnelen som skulle utvides. Dette arbeidet viste seg meget vanskelig å utføre, spesielt på grunn av at omkringliggende masser var av meget varierende karakter som vanskelig tok injeksjonsmasser. Man oppnådde ikke tilstrekkelig kapasitet i omkringliggende masser og tidlig i prosessen med å utvide profilet fikk man et ras. Risikoen for nye ras ble vurdert som for stor og man besluttet å stanse utvidelsen og kun sikre den resterende delen av sykkel tunnelen slik at den prosjekterte levetiden på 100 år kunne opprettholdes.

Tilpasning av prosjektering i kryssområdet

Under utførelsen fant man at fjelloverflaten ligger høyere enn det som var antatt under prosjekteringen. Man bestemte derfor at pilaren kunne utgå for en ny løsning med utvidelse av rørskjerm, ytterligere forankring av sikring og flere jordankre/integrering av utførte jordankre fra byggegropen, se Figur 17.

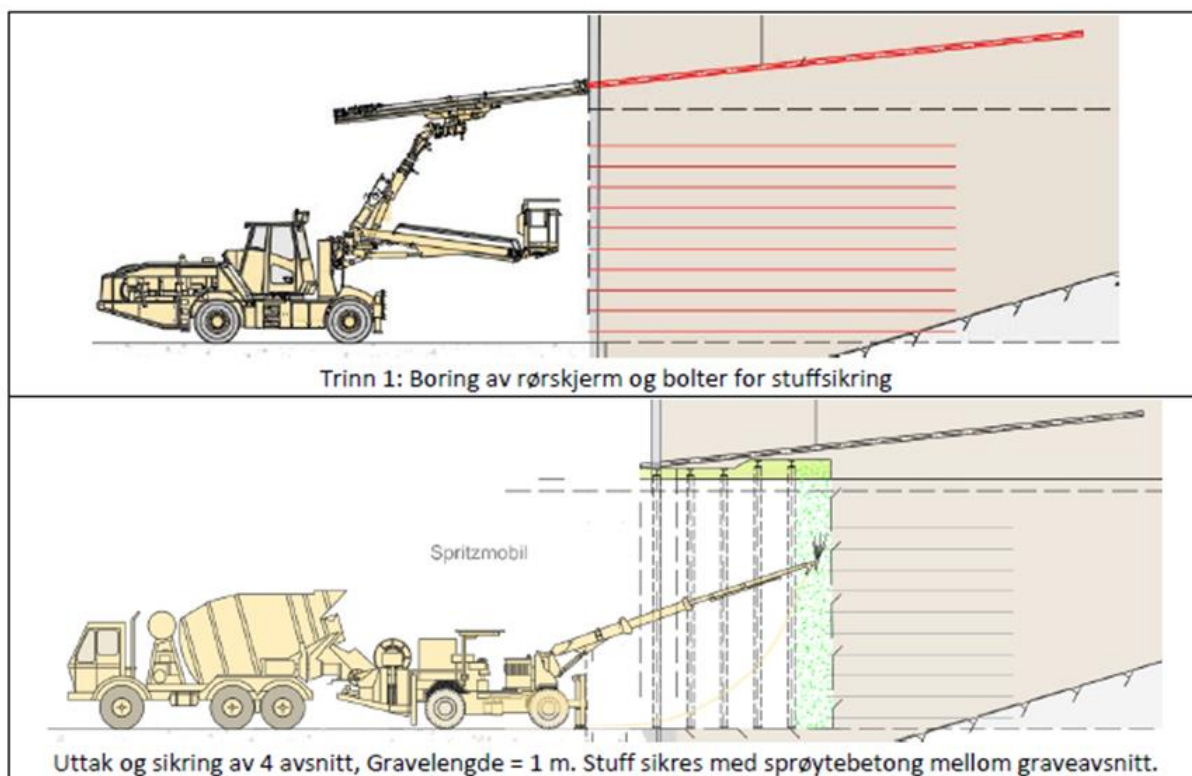


Figur 17: Endret utførelse i kryssområdet basert på virkelig plassering av fjelloverflate

Driving under rørskjerm

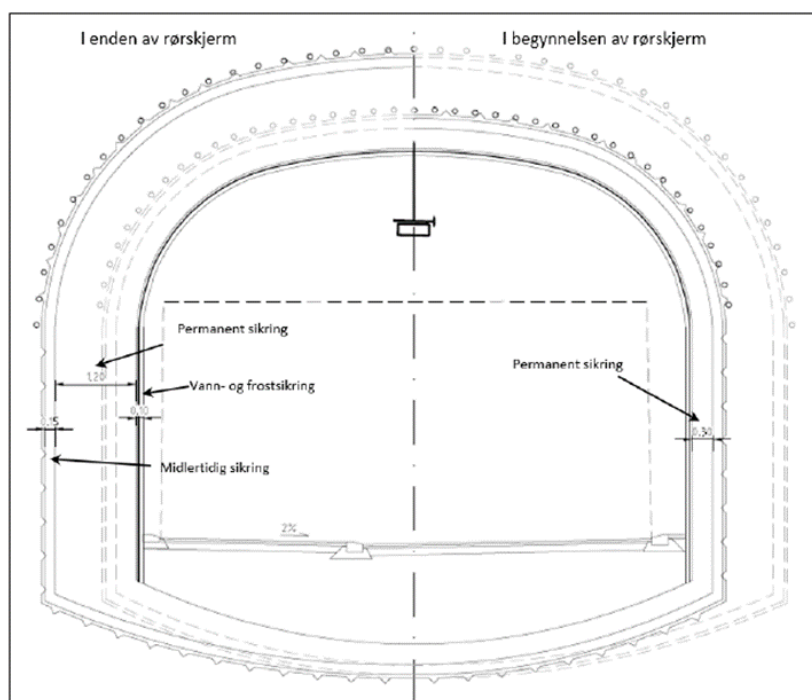
Rørskjerm installeres som en paraply over tunnelprofilen, som forbolter i en fjelltunnel. Rørene med total lengde på 12 m injiseres og sikres mot nedfall. Avhengig av hvor mye fjell som er i profilet, graves løsmassene ut først og sikres før fjellet sprenges eller pigges ut. Dette for å sikre at løsmassene tas ut i kontrollerte former med minimal størrrelse på åpningen i forhold til den lokale stabiliteten under utgraving.

I den første rørskjermen hadde vi for det meste fjell og drivingen foregikk relativt enkelt og man opparbeidet seg gode rutiner før driving med delt profil løsmasse/fjell startet. Etter hvert som vi fikk mer og mer løsmasser i profilet, ble stoffen sikret med sprøytebetong og glassfiberbolter. Løsmassene ble tatt ut i seksjoner med uttakslengde 1 m som ble sikret fortløpende med sprøytebetong, prinsipp illustrert i Figur 18. Da hele tverrsnittet var åpnet opp, ble det installert gitterdrager som ble sprøytet inn. Tidspunkt for etablering av full ringslutning ble bestemt på bakgrunn av målte deformasjoner og spennvidde. På grunn av plass for utstyr for boring av rørskjerm trenger man mer stikning enn normalt og forskjellen på profilet etter arbeidssikring i starten og slutten av en rørskjerm blir stor, opp mot 90 cm, se Figur 19. Etter 8 m driving ble det etablert en ny rørskjerm for videre tunneldriving.



Figur 18: Prinsipp for driving under rørskjerm i løsmasser

Gjennom sommerferien 2022 ble rørskjerm 4 fram til krysset drevet. Da hadde man utført arbeider på hver side av rørskjermen og de største deformasjonene var allerede oppstått. Det var tett og godt samarbeid i perioden og man fikk inndrift som forventet, uten større hendelser eller problemer. Man opplevde større deformasjoner under driving av rørskjerm 3 samt over gangtunnelen, rørskjerm 5 og 6. Det antas at massene som var tilbakefylt over den gamle tunnelen var mindre kompaktert eller at det var mer stor stein i disse massene og at dette var årsaken til de relativt store deformasjonene som ble målt.



Figur 19 : Forskjell på profil ved start og slutt av en rørskjerm på 8 m lengde

Løsmasser bestod av variert innhold og til dels meget stor stein, noe som gjorde det utfordrende å installere glassfiberbolter for stuffsikring. Det ble derfor i partier installert kamstål istedenfor glassfiberbolter (Figur 20). Disse boltene ble under utgraving bøyd tilbake mot stuffen og deretter kappet etter ferdig uttakslengde. Det var et krav om at minimum midlertidig sikring skulle være utført før arbeidsdagen kunne avsluttes, og i noen tilfeller inkluderte dette sikring av sålen med ringslutning.



Figur 20: Typisk lagdeling og midlertidig sikring under utgraving i løsmasser. Bilde tatt i gangtunnel.

Innlekkasjer

Vannlekkasjer er den største utfordringen for stabiliteten til en løsmassetunnel. Før arbeidene med byggegrop og løsmassetunnel startet, ble det etablert 4 pumpebrønner bak rørveggen i byggegropen. Pumpebrønnene var operative gjennom hele anleggsfasen.

Under tunneldrivingen ble det installert vakuumlanser for å håndtere vanninntrengning. Ideelt sett skulle vakuumlansene installeres langs overgangen fjell-løsmasser, men dette ble utfordrende å få til i kombinasjon med utgraving og vakuumlanser ble derfor etablert i hengen. Vann på stuff var en avgjørende faktor for hvor store graveseksjoner løsmassene måtte tas i, se Figur 21. Vannlekkasjer på stuff i kombinasjon med løsmasser bestående av sand, varierende innhold av grus og silt gjorde, i noen tilfeller, det utfordrende å få heft på sprøytebetongen slik at man opplevde nedfall av både løsmasser og sprøytebetong. Dette ble løst ved å montere armeringsmatter som ble sprøytet inn.



Figur 21: Vakuumlanser og seksjonsvis uttak av løsmasser i gangtunnel

Overvåkingsprogram

Under tunneldrivingen ble setninger og deformasjoner nøye overvåket i form av:

- Deformasjonsmålinger langs tunneltraseen med måleprofil for hver 5 m
- Måling av bevegelser bak rørveggen i byggegropen
- Deformasjonsmålinger i tunnel for hver 4 m
- Måling med inklinometer i øverste rør i rørskjerm i to rørskjermer samtidig

Basert på modellberegninger, ble det definert alarmverdier for setninger på terreng og i tunnel. Byggherre, rådgiver og entreprenør hadde full tilgang til registrerte målinger og det ble etablert en vaktordning for å følge med på målingene. Målingene måtte sees i sammenheng med arbeider som ble utført i tunnel og i byggegrop, se Figur 22. I tilfeller hvor deformasjoner overskred alarmnivå, ble arbeider stanset, situasjonen ble vurdert i samråd med byggherre, konsulent og entreprenør, og det ble påført supplerende sikring i form av sprøytebetong, jordankre, full ringslutning osv. Når målingene viste at deformasjonene hadde stabiliserte seg, kunne arbeidene gjenopptas.

Målepunkter for setningsmåling i terreng ble plassert på Møllendal gravplass mellom kistegraver. Avlesning av måledata fra prismen i tunnel viste generelt liten deformasjon, mens prismen på gravplass viste deformasjoner større enn forventede maksimumsverdier. Dette skyldes trolig at løsmassene på gravplassen er lite kompakterte og derfor viser høyere setninger enn normalt.



Figur 22: Eksempel på setninger på terrengoverflaten på gravplass

Inklinometer ble installert før driving under rørskjerm slik at deformasjoner direkte relatert til uttak av masser ble målt. Inklinometermålinger viste at deformasjoner typisk startet ca. 5-6 m foran stuff og stabiliserte seg ca. 5-7 m bak stuff. Deformasjonsutviklingen styrte hvordan seksjonsvis uttak av løsmasser og fortløpende arbeidssikring ble utført. Tidspunktet for sikring var viktig i forhold til størrelsen på uttaket.

Daglige statusmøter og oppfølging under bygging

Gjennom hele tunneldrivingen ble det gjennomført daglige statusmøter med byggherre, rådgiver og entreprenør. Dette bidro til å ta riktige og raske beslutninger fortløpende basert på deformasjonsmålinger, stabilitetsforhold på stuff og andre forhold relatert til løsmassetunnelen.

Prosjekterende var aktivt med under bygging og hadde tilstedeværelse og beredskap gjennom store deler av byggefasen.

ERFARINGER

Bortsett fra raset, var det godt samsvar mellom prosjektert løsning og det vi opplevde under utførelse. Alle parter i prosjektet var genuint interesserte i godt samarbeid og konstruktive samtaler for å avklare utfordringer som ble avdekket. Det var tidvis utfordringer med å drive under grunnvannstanden. Bruk av sugespisser, tilpasset størrelse på utgraving i forhold til lokal stabilitet og tradisjonelle pumpebrønner, medførte at ustabiliteten i de tilfeller man hadde vanninntrenging, ble håndterbare.

Den gamle tunnelen var utført som åpen byggegrøp, og tilbakefylling og komprimering av denne var relativt dårlig utført. Videre har de stedlige massene rundt gangtunnelen innslag av stor stein. I felleskap medført dette at man stedvis fikk uttak av gravevolumer som var større enn planlagt, men man hadde beredskap med sprøytebetong som klarte å håndtere dette.

De relativt store setningene man opplevde på gravplassen krevde en større grad av oppmerksomhet og noen søvnløse netter hos de som var på vakt. Etter hvert som man fikk erfaring og forstod mekanismen bedre kunne vi justere alarmverdiene og dermed bedre inndriften.

REFERANSER

Forprosjekt utarbeidet av Sweco, flere dokumenter, viktigste

- Sweco (2019) «Kronstadttunnelen – Steinkvelv – Tilstandsvurdering», Frekhaug 11.02.19

Grunnundersøkelser utført i flere omganger. Ulike rapporter, viktigste:

- Golder Associations AS (2019), «Kjerneboring og slagboring - Kronstadttunnelen, Møllendalsveien og Møllendalsbakken (0.1)»
- Borprotokoll fra installasjon av en vertikal og en skrå rørvegg ved siden av den gamle portalen, flere rapporter

Standarder som ligger til grunn til prosjektering

- Eurocode (2016), «NS-EN 1990 2002 A1 2005 NA 2016 Basic of structural design»
- Eurocode (2008), «NS-EN 1997-1 2004 NA 2008 Geotechnical design»
- Norges Statsbaner (1914), Normaler
- SVV (2015), N400
- SVV (2016), N500

Relevante standarder fra Mellom-Europa på bygging av løsmassetunnel:

- British Highway Department, BD 91/04 Unreinforced Masonry Arch Bridges
- SN 505 266/2 Natursteinmauerwerk
- SN 505 269/6-1 Erhaltung von Tragwerken Mauerwerksbauten, Teil 1: Natursteinmauerwerk